

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Návrh robotizovaného pracoviště pro nástřik rámců jízdních kol

The Design of Robotized Workplace for Spraying Bicycle Frames

Student:

Martin Ryšavý

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Ryšavý**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Návrh robotizovaného pracoviště pro nástřik rámců jízdních kol**
The Design of Robotized Workplace for Spraying Bicycle Frames

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu a navrh'něte varianty řešení robotizovaného pracoviště pro nástřik rámců jízdních kol.
2. Proved'te výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodno'te dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Periferní zařízení RTP*. Skripta VŠB-TUO, Ostrava: 2006, 132 s. ISBN 80-248-1221-5.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

SKAŘUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

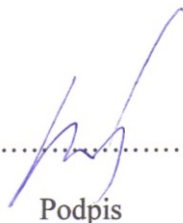
V Ostravě: 20.5.2013

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Ryšavý

Adresa trvalého pobytu autora práce: Markova 18, Ostrava – Zábřeh, 70030

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RYŠAVÝ, M. *Návrh robotizovaného pracoviště pro nástřik rámců jízdních kol: bakalářská práce.* Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robototechniky, 2013, 57 s, Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh robotizovaného pracoviště pro nástřik rámců jízdních kol. První část uvádí stávající technologické možnosti nanášení barev. Popisuje jejich přednosti a nedostatky a definuje objekt manipulace. Druhá část je věnována návrhu jednotlivých variant řešení, provedení hodnotové analýzy a výběru výsledné varianty. Další část práce je zaměřena na rozpracování výsledné varianty, určení zařízení pro provoz pracoviště a navrhnutí a kontrolu otočného mechanismu. Byla zpracována výkresová dokumentace dispozice pracoviště a vytvořen 3D model pracoviště v programu PTC Creo.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

RYŠAVÝ, M. *The Design of Robotized Workplace for Spraying Bicycle Frames: Master Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotechnics, 2013, 57 p, Thesis head: Ing. Ladislav Kárník, CSc.

This Bachelor thesis focuses on the design of a robotized workplace for spraying bicycle frames. The first section shows contemporary technological paint application processes. It describes their advantages and disadvantages and defines object manipulation. The second part is dedicated to the design solution options, executing value analysis and selection of the final solution. The next part elaborates on the final solution and the selection of workspace equipment. There was drawn technical documentation of distribution equipment in the workplace and created a 3D model of the workplace in program PTC Creo.

Obsah

Seznam použitého značení.....	9
0 Úvod.....	11
1 Analýza stávajícího stavu	12
1.1 Robotická pracoviště	12
1.2 Materiály rámu.....	12
1.3 Tvar rámu	13
1.4 Robot.....	15
1.5 Lakování	15
1.5.1 Práškové lakování:	16
1.5.2 Lakování tekutými materiály	18
1.6 Periferní zařízení.....	19
1.6.1 Dopravníky	20
1.6.2 Odsávací boxy.....	20
2 Návrh jednotlivých pracovišť	23
2.1 Varianta A.....	23
2.2 Varianta B:.....	24
3 Objekt manipulace	26
4 Výběr optimální varianty.....	28
4.1 Hodnoty kritérií	28
4.2 Významnost kritérií	28
4.3 Hodnotící kritéria.....	28
4.4 Určení významností metodou trojúhelníku párů.....	29
4.5 Určení váhy významnosti.....	30
4.6 Hodnocení jednotlivých variant.....	31
5 Vypracování vybrané varianty.....	33
5.1 Konstrukční řešení podvěsného dopravníku	33
5.2 Otáčecí systém:	36
5.3 Volba technologického efektoru	41
5.4 Vlastnosti robotu ABB	42
5.5 Řídicí systém.....	44
5.6 Odsávací box	45
5.7 Dávkovací centrum.....	45

5.8	Řídicí centrum	46
5.9	Nástřiková kabina	47
5.10	Vypalovací pec	47
6	Bezpečnostní opatření:	48
7	Popis potřebných energií	49
8	Závěr	50
9	Seznam použitých pramenů	52
10	Seznam použitých obrázků	56
11	Seznam použitých tabulek	57
12	Seznam příloh	58
13	Přílohy	59

Seznam použitého značení

B	Šířka ložiska	[mm]
C	Dynamická únosnost	[kN]
C ₀	Statická únosnost	[kN]
d ₁	Průměr čepu	[mm]
d ₂	Průměr tyče	[mm]
F _a	Síla v axiálním směru	[N]
F _c	Celková působící síla	[N]
F _r	Síla v radiálním směru	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
k	kadence	[ks.měsíc ⁻¹]
l ₁	Délka ramena	[mm]
L _k	Délka nástřikové kabiny	[mm]
l _d	Délka dopravníku	[mm]
l _o	Vzdálenost posunutí OM při přetočení kusu	[mm]
l _p	Vzdálenost mezi OM	[mm]
m _c	celková hmotnost	[kg]
m _{max}	Maximální hmotnost všech OM na dopravníku	[kg]
m _{MO}	hmotnost OM	[kg]
m _n	Hmotnost otočného systému	[kg]
m _{nc}	Celková hmotnost otočného systému na dopravníku	[kg]
M _o	Ohybový moment	[N.mm]
m _p	Poháněná hmotnost	[kg]
m _t	hmotnost tyče	[kg]
n _{dm}	počet pracovních dnů v měsíci	[-]
n _{max}	přípustné otáčky	[ot.min ⁻¹]
n _s	počet směn	[-]
OM	objekt manipulace	[-]
P	Výkon pohonu	[W]
p	Počet znalců	[-]
q	Váha významosti	[-]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
S	Plocha	[mm ²]
s ₀	Bezpečnost	[-]
t ₁	Tloušťka stěny	[mm]
t ₀	čas otočení OM	[s]
t _s	čas nástřiku OM z jedné strany	[s]

t_u	čas údržby	[s]
W_o	Průřezový modul v ohybu	[mm ³]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_{Do}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
τ_{Ds}	Dobolené napětí ve stříhu	[MPa]
p_D	Dovolené napětí v otlačení	[MPa]
σ_{Dt}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]

0 Úvod

Roboty v dnešní době prožívají velký rozmach a nacházejí stále nové uplatnění. K nejčastější aplikaci robotů dochází především ve svařování, nástřiku a paletizaci. Hlavními důvody je automatizace pracoviště, což vede ke zrychlení práce a snížení nákladů na výrobu a tím i zefektivnění výroby.

Cílem bakalářské práce je navrhnout robotické technologické pracoviště pro nástřik rámců jízdních kol. V úvodu se práce zabývá analýzou existujících technologií, návrhy jednotlivých variant řešení a výběrem jedné z variant pomocí provedení hodnotové analýzy.

V další části se práce zabývá konstrukčním řešením vybrané varianty. Výsledná varianta bude rozpracována a podle zadání zpracována technická dokumentace v CAD systému.

1 Analýza stávajícího stavu

Tato kapitola se bude věnovat analýze současného stavu.

1.1 Robotická pracoviště

Robotická lakovací pracoviště mají největší uplatnění především v automobilovém průmyslu, kde provádějí nástřik karosérie. Pro tyto pracoviště se vyvíjí stále nové technologie, které zvyšují efektivitu. U těchto pracovišť se především dbá na vysokou čistotu provozu, ekonomičnost a ekologičnost.

1.2 Materiály rámu

Rám je hlavní součást každého kola. Je to základní komponent, ke kterému ke kterému jsou namontovány ostatní součásti. V současnosti existuje mnoho typů jízdních kol a podle čehož se mění tvar, velikost i materiál rámu. Nejlevnější materiál rámu je ocel. Tu dnes vytlačují novější materiály s lepšími vlastnostmi např. slitiny hliníku, titan a karbonové vlákna

Ocel – Tyto rámy se většinou vyrábí z různých ocelových slitin. Nejčastěji se používají slitiny oceli jako např. Cr-Mo, nebo Hi-Ten (vysoko pevnostní) slitina s 0,2 až 2% karbonu. Tento materiál je pevný, pružný, jednoduchý na výrobu a levnější než ostatní materiály. Další výhodou je jeho velmi dobrá absorpce nárazů. Nevýhodou ocelových rámu je vyšší hustota a tudíž i vyšší hmotnost, kterou můžeme částečně snížit použitím lepších slitin a ztenčením stěn. Ocelové rámy se musí chránit proti korozi, a lakování je pro ně nezbytností. [3]

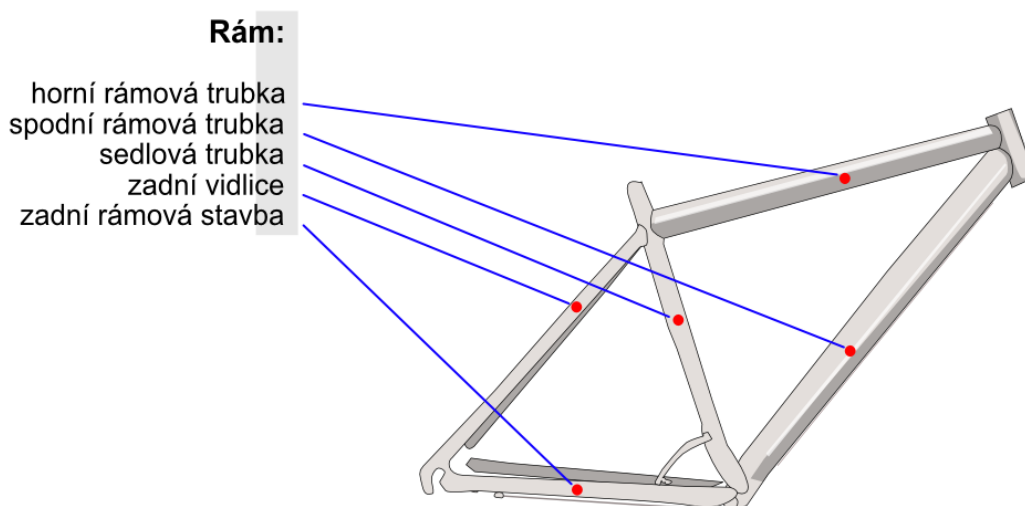
Hliník – Slitiny hliníku mají nižší hustotu a pevnost v porovnání s ocelovými slitinami. Ale má lepší poměr pevnosti k hmotnosti, a proto jsou dnes velmi populární. Nevýhodou je vyšší cena a větší tuhost než u ocelí. Nejpopulárnější hliníkové slitiny jsou 6061 a 7005. Slitina 6001 je slitina hliníku s hořčíkem (přibližně 1%), křemíku (přibližně 0,5%) a dalších přísad. Ve slitině 7005 je hlavní přísadou zinek (až 5%), hořčík a další prvky. [3,5]

Karbon – Rámy z karbonových vláken jsou stále více populární. Na rozdíl od ocelových a hliníkových rámu neobsahuje kov. Vyrábí se kladením karbonových vláken a pojidla do speciálních forem a jejich spékáním při tlaku a vysátém vzduchu. Tyto rámy jsou relativně drahé, zato jsou lehké, odolné proti korozi, pevné a mohou být tvarované do mnoha tvarů. Nevýhodou je nižší odolnost proti nárazu a malá tepelná odolnost. [6]

1.3 Tvar rámu

Dnes nejrozšířenějším typem rámu je rám tvaru diamant. Existuje však mnoho typů. Dále jsou uvedeny pouze frekventovanější typy.

Diamant – Nejčastější konstrukce, kterou tvoří dva trojúhelníky. Na obrázku 1 lze vidět popis jednotlivých komponent rámu. Podle vhodnosti do terénu se pak dělí na silniční, trekingová a horská. Jsou zde jen malé úpravy ve tvaru rámu. [4]



Obr. 1 - Popis rámu [8]



Obr. 2 - rám diamant [7]

Trapez - Kolo s malou hmotností a dobrou stabilitou. Tato geometrie je vhodná především pro ženy nebo seniory díky sklopené horní trubce (*Obr. 3*). [35]



Obr. 3 - rám trapez [9]

1.4 Robot

S ohledem na přesnost a kvalitu pro nástřik je zvažováno použití nového stroje, nebo repasovaného. Výhodou nového stroje je zákonem předepsaná záruka a možnost použití novějších technologií. Robot může být také méně energeticky náročný a více efektivní při vykonávání úkolu.

Repasovaný robot je starší zařízení, které prošlo komplexním procesem oprav a kontrol všech částí. Může dosahovat podobných vlastností jako robot nový s dalšími výhodami jako nízká počáteční investice, vysoká spolehlivost. Při repasování v již existujícím provozu se nemusí měnit stroj a tím odpadají náklady na budování nové základny pro stroj a školení personálu. [10]



Obr. 4 - Ukázka starého a repasovaného robotu [10]

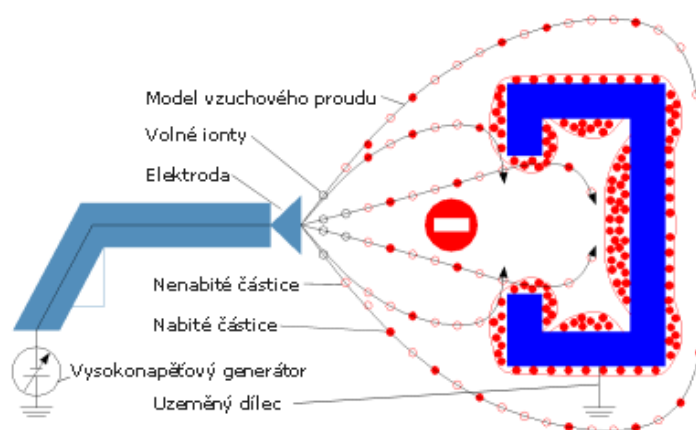
1.5 Lakování

U technologie lakování se používají dvě nejfrekventovanější metody: technologie práškového lakování a technologie mokrého lakování. Obě metody se liší nejen použitým materiálem a periferními zařízeními, ale i požadavky na další operace.

1.5.1 Práškové lakování:

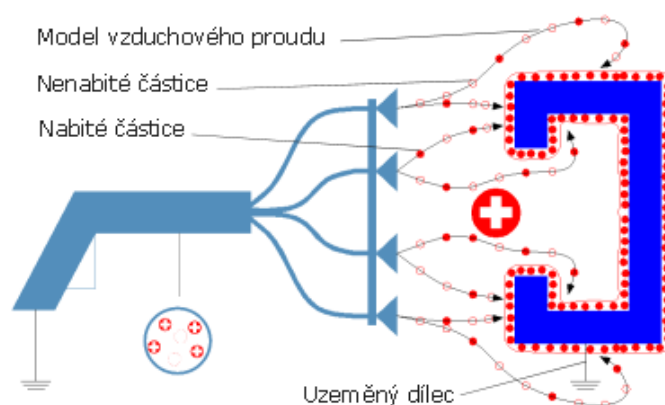
Je typ lakování, kdy je na materiál aplikován suchý prášek. Nejčastěji se prášek nanáší na ocel, pozinkovanou ocel a hliník. Hlavním rozdílem oproti konvenčnímu akrylátovému lakování je absence použití rozpouštědla. Nanášení prášku se nejčastěji provádí elektrostaticky. Prášek se následně vypálí v peci, čímž se vytvrdí. Jako nanášecí materiál k nástřiku se nejčastěji používají termoplasty nebo elastomery. Práškové lakování se nejčastěji nanáší na kovy např. na domácí spotřebiče, automobily a rámy kol. Nevýhodou je zde nutnost vypálení laku (až při 220°C), proto tato technologie není vhodná pro karbonové součásti. [12, 11]

Nanášení se nejčastěji provádí metodou elektrostatického nabíjení tzv. korona (*Obr. 5*), nebo elektrokinetickým nabíjením tzv. tribo (*Obr. 6*). U elektrostatického nabíjení jsou práškové částice nabity pomocí elektrody vysokého napětí, umístěné u ústí aplikační pistole. Tato metoda je velmi rychlá a účinná, ale není vhodná pro součásti s velkými záhlubněmi. [13]



Obr. 5 - Nanášení elektrokinetickým nabíjením[13]

Metoda elektrokinetickým nabíjením není tak efektivní jako předešlá metoda, zato je vhodná pro součásti se záhlubněmi. Práškové částice jsou zde nabíjeny třením v aplikační pistolí. [13]



Obr. 6 - Nanášení elektrokinetickým nabíjením[13]

Hlavní výhody práškového lakování:

- Ekologicky šetrná metoda
- Použitý, ale nenanesený prášek se může opakovaně použít
- Vysoce rychlá a efektivní metoda. Až 100% využitelnost prášku
- Můžeme nanášet mnohem tlustší vrstvu, než u tekutých nátěrových hmot, bez stékanců
- Celkové náklady na pořízení a provoz jsou menší, než u nanášení tekutých nátěrových hmot
- Velmi dobrá odolnost laku proti poškrábání
- Velmi dobrá chemická odolnost

Nevýhody práškového lakování:

- Obtížné nanášení velmi tenkých povlaků
- Těžké nanášení prášku na ostré rohy
- Časté výměny barev mohou znamenat velké prostoje
- Nutnost vypálení laku při teplotách škodlivých pro některé materiály

1.5.2 Lakování tekutými materiály

Oblíbená metoda často používaná při nástřiku velkých sérií, především ve výrobě karoserií, ale i při nástřiku rámců jízdních kol. Barvy se dělí na jednosložkové (1K) a dvousložkové (2K). Jednosložkové barvy nevyžadují pryskyřici, ani katalyzátor. V praxi se velmi často používají i dvousložkové barvy. Tyto barvy jsou populární alternativou k práškovým barvám vzhledem k široké škále barev a vlastností povrchů. 2K barvy mohou být vodou ředitelné, solventní, na bázi polyuretanu, epoxidové a další. [33,36]

Tekuté laky se skládají z

- Pryskyřice (tužidlo)
- Pigmentu
- Ředidla
- Aditiva

Před použitím se rozmíchají výše zmíněné složky, které vytvoří směs. Ta se pak nanáší ve vrstvách. Barva velmi pozvolně vysychá a rovnoměrně se rozlije. Tím vytvoří přesnou plochu. Nevýhodou těchto barev jsou povrchové vady, jako tvoření bublinek, skvrnitost, krátery, stékání při nanášení tlustších vrstev laku a další. Těmto vadám lze však předcházet použitím vhodné technologie a vhodných materiálů. [15,16] Musí se zde také hlídat splnění všech zákonů a směrnic, především směrnice 94/9/ES, dále zvané ATEX. Výhodou některých tekutých barev je možnost nechat barvu uschnout na vzduchu.

Nanášení se provádí mnoha metodami. Nejjednodušší je nástřik vzduchovou pistolí. V pistoli se mísí barva se stlačeným vzduchem a je stříkaná na OM. Stejně jako u aplikací prášku, můžeme i u lakování tekutými materiály nanášet barvu elektrostaticky. Výhodou elektrostatické metody je lepší využitelnost materiálu z důvodu nabitých částic nástřikového materiálu a uzemněného materiálu. Nevýhodou je nutnost nabíjení částic.

K aplikaci tekutých barev potřebujeme:

- Zásobník materiálu
- Tlaková pumpa
- Kompresor
- Vysoušeč vzduchu
- Zařízení na míchání barvy
- Elektrostatické zařízení
- Stříkací pistole

1.6 Periferní zařízení

Obecně lze periferní zařízení charakterizovat jako nutná další pomocná zařízení, která společně s výrobním zařízením PRaM tvoří komplexní robotizované výrobní systémy. S nákupem průmyslového robota většinou není dodáván efektor, a tudíž se také považuje jako periferní zařízení. Při návrhu robotického technologického pracoviště se musí vždy zvážit nutnost komunikace všech typů periferních zařízení s řídicím systémem PRaM. Zvažuje se také výběr pohonu pro zařízení. Nejčastěji se využívají mechanické, pneumatické, hydraulické, elektrické a kombinované pohony.[1]

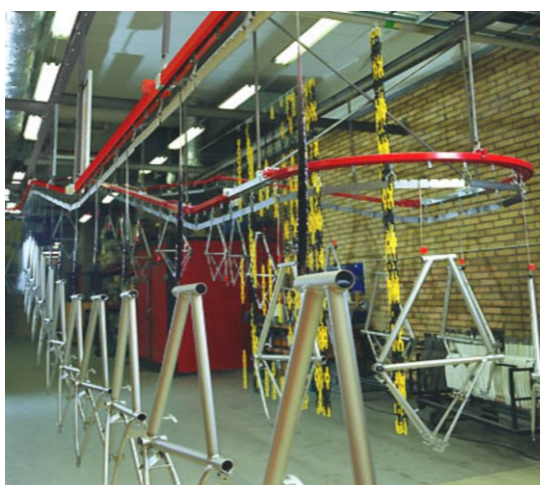
Rozdělení periferních zařízení [1]:

- Dopravníky (Válečkové, článkové, podvěsné, speciální)
- Polohovadla
- Přesuvy
- Obrabeče
- Bezpečnostní periferní zařízení
- Odsávací zařízení
- Manipulační a technologické efektory
- Ostatní

1.6.1 Dopravníky

V oblasti povrchových úprav se často využívá podvěsných dopravníků. Tento dopravník je umístěn v určité výšce a objekt manipulace je zavěšen na posuvných členech (*Obr. 17*). Výhodou je menší prostorová náročnost a nedochází zde tolik k zanášení dopravníku nástřikovým materiálem. Další typy dopravníků jsou méně frekventované a jsou použity k nástřiku předmětů, které jsou obtížně manipulovatelné a nevhodné k zavěšení na podvěsný dopravník.

Dopravníky mohou být vyráběny v provedeních s pohonem a bez pohonu. Varianta bez pohonu je vhodná pro kusovou výrobu. Manipulaci materiálu obstarává pracovník, který často následně provádí aplikaci barev. Varianta s pohonem je vhodná pro automatizované linky. Pro robotické pracoviště musí být dopravník vhodně řiditelný.



Obr. 7 - Podvěsný dopravník k transportu rámců [17]

1.6.2 Odsávací boxy

Odsávací systém je nezbytný pro technologii nástřiku. Hlavním úkolem systému je zabránění úniku škodlivých látek do okolí, zajištění ekologičnosti, bezpečnosti a čistoty provozu. Zajišťuje odsávání a často i samotnou filtraci nástřikového materiálu. Odsávací boxy volíme podle použité technologie nástřiku. Dále se při návrhu zaměřujeme na volbu filtračního systému.

Boxy pro mokré lakování

Používají často několik stupňů filtrace. První stupeň může být tvořen např. ocelovou žaluzií, nebo papírovými skládanými filtry. Druhý a třetí stupeň se skládá z netkané filtrační textilie a filtrační rohože. Musí zde docházet k pravidelné údržbě a výměně filtrů z důvodů jejich zanášení. [18]



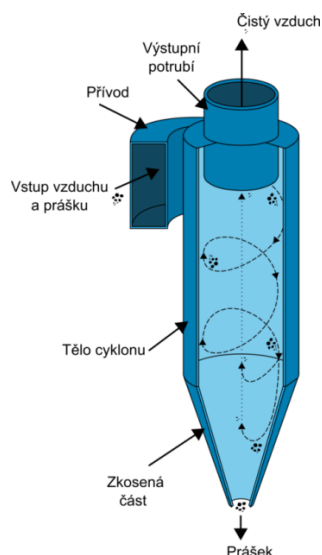
Obr. 8 - Odsávací filtrační box [18]

Boxy pro práškové lakování:

Odsávací systém u práškového lakování je specifický. Zásadně se používají odsávací boxy, určené pro práškové lakování. Často se zde aplikuje systém regenerace (rekuperace) prášku, kde se přebytečný prášek odsaje a shromáždí. Používají se dva typy kolektorů: Cyklonové a zásobníkové

Cyklonové kolektory:

Tyto kolektory jsou používány v provozu s častou výměnou odstínu barvy. Vstup do cyklonu je spojen s lakovacím boxem (stěnou) a jeho výstup je spojen s výfukovým ventilátorem. Přestřík prášku je veden do cyklonu, kde je prášek extrahován ze vzduchu pomocí centrifugace (*Obr. 20*). Cyklon zachytí nejnějněji větší a hmotnější částice. Tato recyklace dosahuje až 95% efektivity. U prášků, které obsahují malé částice ($<10\mu\text{m}$), klesá efektivita na 85%. U těchto musíme zabránit úniku zbytku prášku do atmosféry, čemuž zabráníme použitím zásobníkového kolektoru. [19]



Obr. 9 – Princip cyklonového kolektoru [20]

Zásobníkové (Cartidgeové) filtry:

Používají se pro zachycení přebytku stříkaného prášku. Dosahuje vysoké, až 99% efektivity. Efektivita závisí také na typu filtru a pravidelnosti jeho čištění. Zadržený prášek se během filtrace akumuluje a zvyšuje efektivitu na úkor sníženého proudění vzduchu. Jako materiál filtru se nejčastěji používají papírové, polyesterové, nebo plastové zásobníky. Prášek může být dopraven do zásobníku a znovu použit. [19]

Univerzální systémy:

U velkého objemu nástřikového (přestřikového) lze použít vodní stěny. Vodní filtrování lze použít jak u práškového, tak u mokrého lakování. U této technologie dochází k proudění konstantního proudu vody po zdi. Tato voda zachytává přebytečný materiál, který se podle hustoty usadí na dně, nebo zůstane na hladině a následně je filtrován. Voda koluje v uzavřeném cyklu. Je ovšem nutné zajistit usměrnění proudu vzduchu, aby byl nástřikový materiál veden do proudící vody. [21]

2 Návrh jednotlivých pracovišť

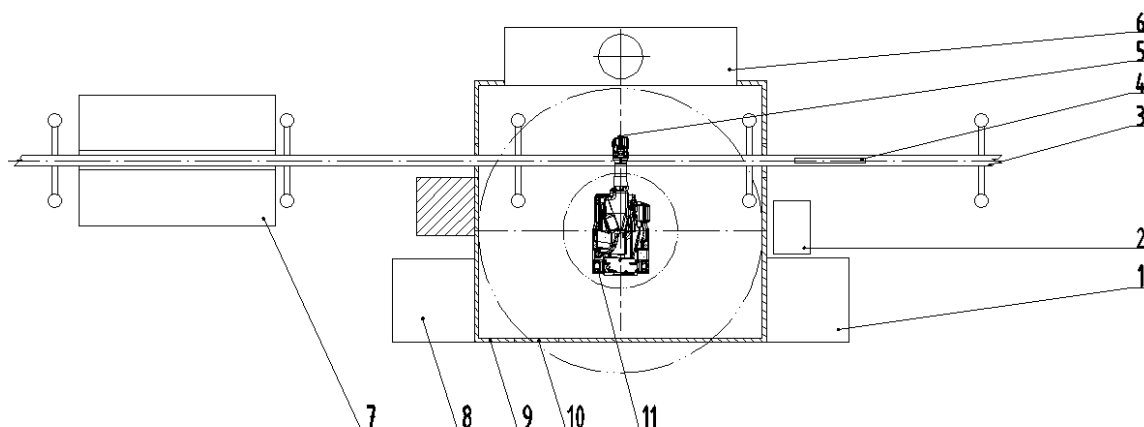
Tato kapitola uvádí základní požadavky na robotické pracoviště a návrh možných variant řešení.

Požadavek	Popis
Druh pracovní činnosti RTP	Nástřik laků
Typ průmyslového robotu	ABB IRB 52
Počet průmyslových robotů	1
Objekt manipulace	Rám kola
Hmotnost objektu manipulace	1 – 10kg
Počet velikostí rámců	5
Kadence	1 rám za minutu
Minimalizace pořizovacích a provozních nákladů	
Minimalizace provozního prostoru	

Tabulka 1 - požadavkový list

2.1 Varianta A

První varianta lakovacího pracoviště je určena pro nástřik prášku a realizována pomocí podvěsného dopravníku (*pozice 3*). Objekt manipulace (*pozice 4*) je zavěšen pracovníkem na dopravník a dopravován přes lakovací kabinu (*pozice 9*), ve které probíhá nástřik OM z obou stran. K nástřiku je použit lakovací robot ABB IRB 52 (*pozice 11*) ve verzi s dosahem ramena až 1,2m. Robot je umístěn uvnitř nástřikové kabiny. Kabina je uzavřená s otvorem pro průjezd dopravníku a dveřmi (*pozice 10*) pro vhodný přístup pracovníka. K řízení robota slouží řídicí systém (*pozice 1*), umístěný vně kabiny. O dopravu nástřikového materiálu se stará práškové dávkovací centrum (*pozice 8*), ze kterého je dopraven prášek přes řídicí jednotky do robotu ABB. Samotný nástřik provádí specializovaný efektor (*pozice 5*), který nanáší prášek elektrostatickou metodou (tribo). OM je uzeměn, což zaručuje přilnutí prášku na materiál. Rovnoměrné nanesení prášku z obou stran zajišťuje otáčecí mechanismus, který otočí rám o 180°. K odsávání přebytečného prášku slouží odsávací stěna (*pozice 6*), filtrující prášek zásobníkovými filtry. Po nástřiku je OM dopravován do vypalovací pece (*pozice 7*), kde dojde k vytvrzení prášku.

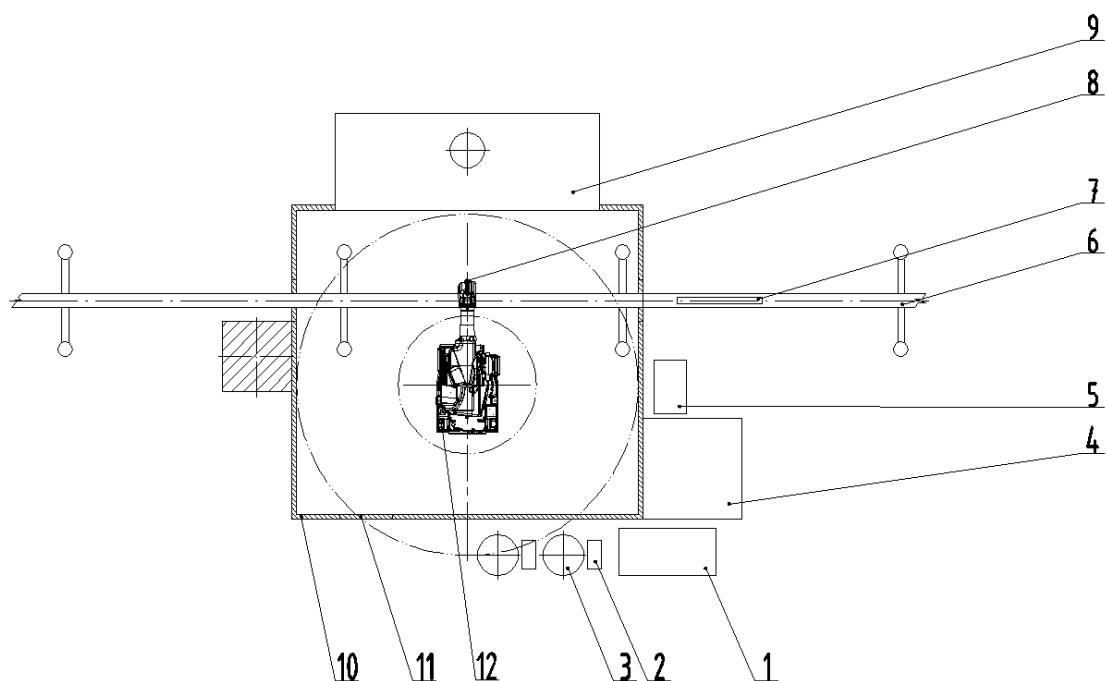


- | | |
|--|--------------------------------|
| [1] Řídicí systém robotu ABB | [7] Vypalovací pec |
| [2] Řídicí jednotka | [8] Práškové dávkovací centrum |
| [3] Podvěsný dopravník | [9] Lakovací kabina |
| [4] Objekt manipulace | [10] Dveře |
| [5] Specializovaný elektrostatický efektor | [11] Robot ABB IRB 52 |
| [6] Odsávací stěna | |

Obr. 10 – Schéma pracoviště A

2.2 Varianta B:

Další varianta lakovacího pracoviště je určena pro technologii mokrého lakování. Pracoviště je realizováno pomocí podvěsného dopravníku (*pozice 6*). Objekt manipulace (*pozice 7*) je na tento dopravník zavěšen pracovníkem a dopravován přes lakovací kabínu (*pozice 10*), ve které probíhá nástřik OM z obou stran. Otáčení zajišťuje otáčecí mechanismus. K nástřiku používáme lakovací robot ABB IRB 52 (*pozice 12*) ve verzi s dosahem ramena až 1,2m. K řízení slouží řídicí systém (*pozice 4*), umístěný vně kabiny. K nástřiku používáme tekuté nástřikové hmoty. Tomu je přizpůsoben i technologický efektor (*pozice 8*), který je připevněn na přírubu robota ABB a je speciálně určen pro nástřik tekutých hmot. Vně kabiny jsou umístěny zásobníky s barvou (*pozice 3*). Barva je ze zásobníku vedena pomocí pumpy (*pozice 2*) do směšovače (*pozice 1*), který smíchá barvu s případným ředidlem a tužidlem. Směšovač je propojen se řídicím systémem IRC5P. K odsávání je použita odsávací zeď, (*pozice 9*) vhodná pro mokré lakování. Objekt manipulace je následně vysoušen na vzduchu.



- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| [1] Směšovací centrum | [7] Objekt manipulace |
| [2] Nízkotlaká membránová pumpa | [8] Technologický efektor |
| [3] Zásobník barvy | [9] Odsávací stěna |
| [4] Řídicí systém robotu ABB | [10] Lakovací kabina |
| [5] Řídicí jednotka | [11] Dveře |
| [6] Podvěsný dopravník | [12] Lakovací robot IRB 52 |

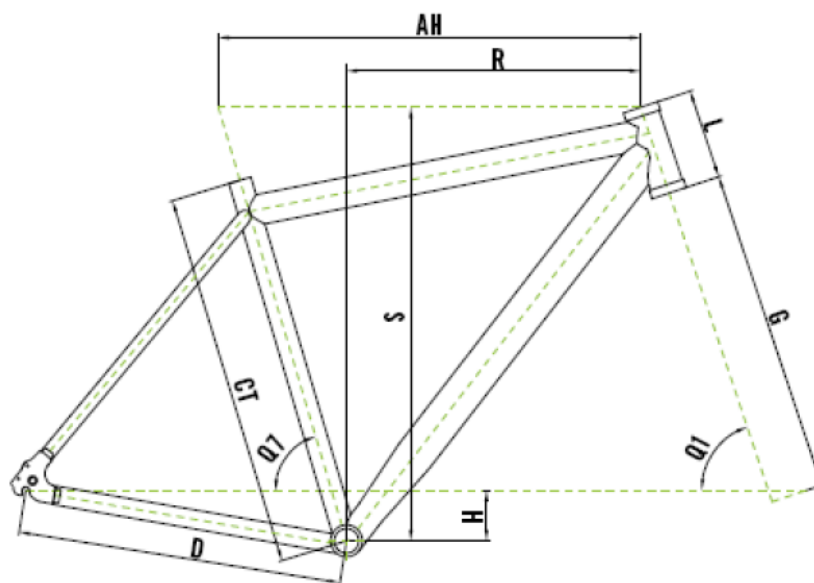
Obr. 11 - Schéma pracoviště B

3 Objekt manipulace

Jako objekt manipulace byl zvolen rám od výrobce Merida model 20-V s diamantovým tvarem. Velikost rámu je 48cm odpovídá jí váha 2,09kg. Tento rám se používá ke stavbě kola určeného pro trekingové použití. Další použité rámy se liší pouze velikostně a malou změnou hmotnosti.



Obr. 12 - Rám Merida 20- V[22]



Obr. 13 - Rozměry rámu [23]

Popis	Značení	Rozměr
Sedlová trubka	CT	480[mm]
Horní rámová trubka	AH	585[mm]
Zadní rámová stavba	D	450[mm]
Úhel hlavové trubky	Q1	71,5[°]
Úhel sedlové trubky	Q7	73,5[°]
Výška středu	H	70[mm]
Hlavová trubka	L	135[mm]
Vidlice	G	450[mm]
Reach	R	405[mm]
Stack	S	609[mm]

Tabulka 2 - Rozměry rámu [23]

Pomocí softwaru Auto CAD byly zjištěny největší rozměry rámu.

Popis	Velikost	Jednotka
Délka	904	[mm]
Výška	609	[mm]

Tabulka 3 - Maximální rozměry rámu

4 Výběr optimální varianty

V této kapitole se zabýváme výběrem nejvhodnější varianty.

4.1 Hodnoty kritérií

Byla zvolena šesti bodová stupnice hodnocení

Úroveň kritéria	hodnota
Vysoká	6
dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	1

Tabulka 4 - Úrovně kritérií

4.2 Významnost kritérií

Významnost kritérií	hodnota
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tabulka 5 – Významnost kritérií

4.3 Hodnotící kritéria

			Varianty řešení	
Označení kritéria	kritérium	charakteristika kritéria	A	B
K1	efektivita	využitelnost materiálu	6	5
K2	složitost následných operací		5	4
K3	složitost údržby		5	3
K4	zastavěná plocha	Prostorová náročnost	3	4
K5	cena	Předběžné pořizovací náklady	5	4

Tabulka 6 - Zhodnocení kritérií

4.4 Určení významnosti metodou trojúhelníku párů.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb
K1	K1	K1	K1	3,5
K2	K3	K4	K5	
	K2	K2	K2	2,5
	K3	K4	K5	
		K3	K3	3
		K4	K5	
			K4	0
			K5	1
Vypracoval: Martin Ryšavý				

Tabulka 7 - Vypracovaná metoda trojúhelníků párů provedená prvním znalcem

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb
K1	K1	K1	K1	3
K2	K3	K4	K5	
	K2	K2	K2	1,5
	K3	K4	K5	
		K3	K3	3
		K4	K5	
			K4	0,5
			K5	1,5
Jan Mejzlík				

Tabulka 8 - Vypracovaná metoda trojúhelníků párů provedená druhým znalcem

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb
K1	K1	K1	K1	3
K2	K3	K4	K5	
	K2	K2	K2	2
	K3	K4	K5	
		K3	K3	3
		K4	K5	
			K4	0
			K5	2
Jakub Melčák				

Tabulka 9 - Vypracovaná metoda trojúhelníků párů provedená třetím znalcem

4.5 Určení váhy významnosti

Kritérium	Váha významnosti q
K1	3,167
K2	2
K3	3
K4	0,167
K5	1,5

Tabulka 10 - Váha významnosti

Váha významnosti q je dána vztahem

$$q = \frac{\sum (v_1)_i}{p} = \frac{10,5}{3} = 3,167 \quad (4.01)$$

Váha významnosti q je dána vztahem

$(v_1)_i$ - součet počtu voleb jednotlivými znalci

p - počet znalců

Tento výpočet je určen k výpočtu váhy významnosti pro kritérium K1. U dalších koeficientů se pokračuje obdobně.

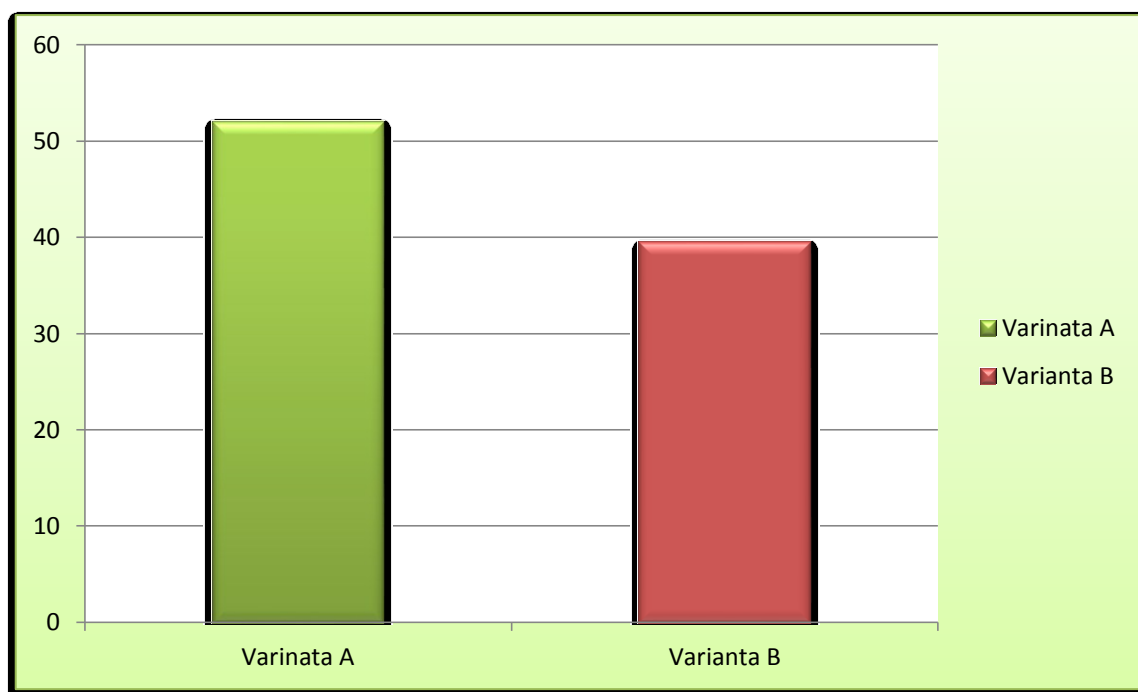
4.6 Hodnocení jednotlivých variant

Varianta A			
Kritérium	Počet bodů	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	6	3,167	19
K2	5	2	10
K3	5	3	15
K4	3	0,167	0,5
K5	5	1,5	7,5
Suma vážených indexů varianty A			52

Tabulka 11 - Zhodnocení varianty A

Varianta B			
Kritérium	Počet bodů	Váha významnosti kritéria	Vážený index kritéria
K1	5	3,167	15,334
K2	4	2	8
K3	3	3	9
K4	4	0,167	0,667
K5	4	1,5	6
Suma vážených indexů varianty B			39,5

Tabulka 12 - Zhodnocení varianty B



Graf 1 - Graf významnosti variant

Z hodnotové analýzy vyplývá, že nejvhodnější varianta je A, nanášení prášku.

5 Vypracování vybrané varianty

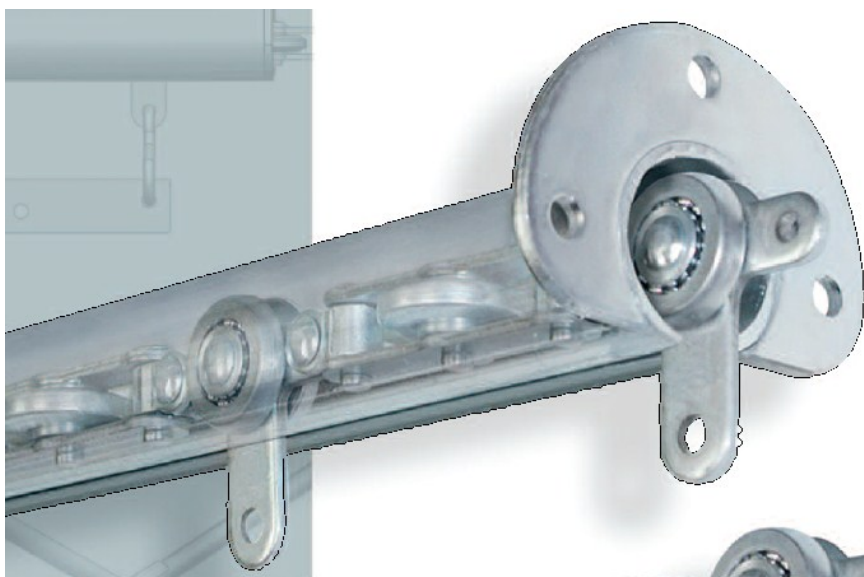
Tato kapitola se věnuje rozpracování vybrané varianty řešení.

5.1 Konstrukční řešení podvěsného dopravníku

U vybrané varianty bylo zvoleno použití podvěsného dopravníku k pohybu objektu manipulace. Z požadavkového listu vyplývá, že OM může vážit do 10kg a dopravník bude pracovat v poměrně prašném prostředí. Toto bylo zohledněno při výběru a konstrukci dopravníku. Byl vybrán dopravník firmy Packline model C-250. Výhodou je uzavřená struktura dopravníku a jednoduchá konstrukce.

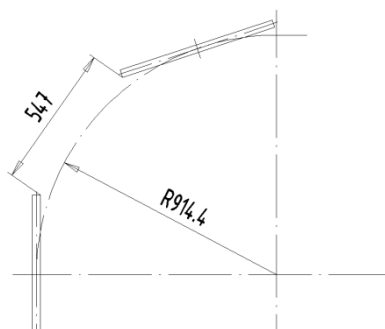
	hodnota	jednotka
Maximální zátěž na jeden závěs	25	[Kg]
Maximální tah pohonu	272	[Kg]
délka dopravníku na jeden pohon	182,88	[m]
minimální tření řetězu	2,5	[%]
Vzdálenost závěsů	152,4	[mm]
Standartní rádius ve vodorovné poloze	609,6	[mm]
Standartní rádius v horizontální poloze	609,6	[mm]
Maximální provozní rychlost	18,29	[m.min ⁻¹]

Tabulka 13 - Vlastnosti dopravníku [24]



Obr. 14 - dopravník Packline [24]

Při nástřiku je použit otáčecí mechanismus, který bude otáčet OM v stříkací kabině. Otočný mechanismus bude přimontován na každém 9 věšáku. Osy ve vzdálenosti 1128,6mm od sebe z důvodu dobré nakládky a vykládky rámu. K tomuto mechanismu bude dále připevněna tyč, na které je zavěšen OM.



Obr. 15 - kontrola kolize v zatáčce

Dopravník se skládá ze čtyř zataček o rádiu 914.4mm. V kritických místech byla provedena kontrola na kolizi materiálu v programu AutoCAD. Na obrázku č. 15 lze vidět, že mezi rámy bude vzdálenost 547mm a ke kolizi materiálu v zatáčce nedojde.

Dopravník bude uchycen pomocí úchopů dodávaných výrobcem k I profilům, vedoucím nad dopravníkem. Maximální vzdálenost úchopů je dána výrobcem 3048mm, přičemž úchop musí být umístěn na obou stranách zatačky a pohon je zavěšen za všechny čtyři rohy. [38] Dopravník je uzemněn.

K mazání řetězu dopravníku se používá mazací systém L – 275, dodávaný výrobcem dopravníku. K mazání byl zvolen olej PL – 30 vhodný do teplot od -17°C do 37°C. Olej je doporučeno vyměnit každých 2500 hodin provozu, nebo pravidelně co šest měsíců. [37]

Dopravník se pohybuje rychlostí $v = 5,03 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, z důvodu ruční nakládky materiálu. S dopravníkem je dodáván řídicí systém, který řídí pohon podle potřeby. Pohon je zvolen výrobcem dopravníku podle následujícího výpočtu. Doba nástřiku byla odhadem stanovena na 24s.

Délka dopravníku	l_d	34033	[mm]
Maximální počet OM na dopravníku	n_{OM}	30	[-]
Celková hmotnost řetězu dopravníku	m_r	75,97	[kg]
hmotnost otočného systému	m_n	5,16	[kg]
Celková hmotnost otočného systému na dopravníku	m_{nc}	154,8	[kg]
Maximální hmotnost OM na dopravníku	m_{max}	300	[kg]

Tabulka 14 – Specifikace dopravníku

Výpočet poháněné hmotnosti

$$m_p = (m_r + m_{nc} + m_{max}) \cdot f_v = (75,97 + 154,8 + 300) \cdot 0,03 \quad (5.01)$$

$$m_p = 15,923 \text{ kg}$$

Kde:

f_v – koeficient tření v řetězu [37]

Výpočet potřebného výkonu pohonu

$$P = \frac{\frac{m_p}{0,4536} \cdot v \cdot 3,281}{33000} \cdot 735,498 = \frac{\frac{15,923}{0,4536} \cdot 5,03 \cdot 3,281}{33000} \cdot 735,498 \quad (5.02)$$

$$P = 12,91 \text{ W}$$

Čas nástřiku rámu: (od vjezdu do kabiny po výjezd z kabiny):

$$t_c = \frac{l_k}{v_d} + 2 \cdot t_s + t_p = \frac{2450}{83,33} + 2 \cdot 12 \quad (5.03)$$

$$t_c = 51,4 \text{ s}$$

Kde:

- l_k – délka nástřikové kabiny

- v_d – rychlost dopravníku

- t_s – doba nástřiku OM z jedné strany

Čas nástřiku rámu:

$$t_n = \frac{l_p - l_o}{v_d} + 2 \cdot t_n + t_o = \frac{1128,65 - 250}{83,33} + 2 \cdot 12 + 3 = 37,54 \text{ s} \quad (5.04)$$

$$t_n = 37,54 \text{ s}$$

Kde:

- l_p – vzdálenost mezi OM
- l_o – posunutí OM při přetočení kusu
- v_d – rychlost dopravníku
- t_o – čas otočení OM
- t_n – doba nástřiku OM z jedné strany

Kadence:

$$k = [(t_p - t_u) \cdot n_s \cdot n_{dm}] \cdot \frac{60}{t_n} = [(450 - 30) \cdot 3 \cdot 20] \cdot \frac{60}{37,54} = 40277 \text{ ks. měsíc}^{-1} \quad (5.05)$$

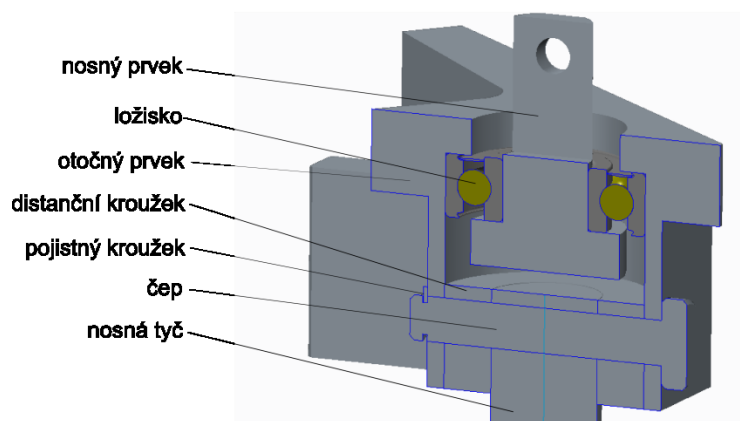
$$k = 40277 \text{ ks. měsíc}^{-1}$$

Kde:

- t_p – pracovní doba jedné směny
- t_u – čas údržby
- n_s – počet směn za den
- n_{dm} – počet pracovních dnů v měsíci

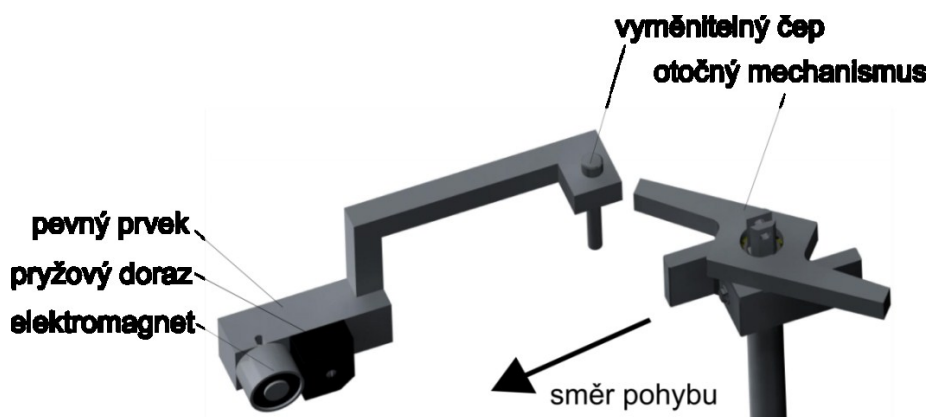
5.2 Otáčecí systém:

Otočný mechanismus se skládá z nosného prvku, připevněného šroubem k věšáku dopravníku. Kuličkové ložisko firmy SKF 6204 - Z zajišťuje vhodné otáčení otočného prvku. Ložisko obsahuje těsnění, což omezuje vnik nečistit. Otočný prvek je svařen ze dvou částí. V otočném prvku je otvor na čep, na kterém je zavěšena nosná tyč. Nosná tyč je ve spodní části ohnuta. Na tuto část se umísťuje OM. Na konci tyče je zarážka, která brání vypadnutí rámu při otáčení.



Obr. 16 - Popis otáčecího mechanismu

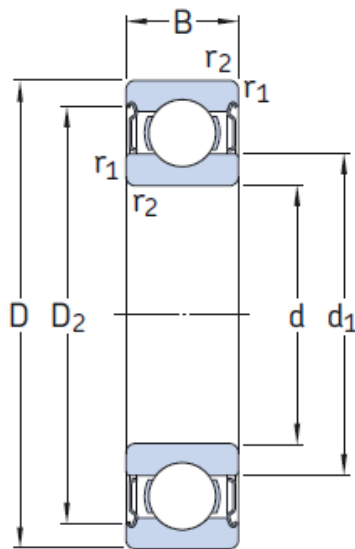
Dopravník se při průjezdu kabinou zastaví a dojde k nástřiku jedné strany rámu. Následně se dopravník rozjede, čímž dojde ke kontaktu otočného systému s čepem, umístěným na pevné části dorazového zařízení. Tím dochází k otočení mechanismu a následnému dorazu. Doraz zajišťuje pryž, která je připevněna šroubem k pevnému prvku a elektromagnet, který zafixuje systém v požadované poloze. Poté se dopravník zastaví a dojde k nástřiku rámu z druhé strany. Pryž je předsazená před elektromagnetem tak, aby nedocházelo k přímému kontaktu otočného mechanismu s elektromagnetem. Pryž je připevněna k pevné části zápusťnými šrouby a může být po opotřebování vyměněna. Z důvodu velkého namáhání je čep vyměnitelný. Byl zvolen elektromagnet firmy Selos, typ 0411 s maximální přídržnou silou 475N a jmenovitým příkonem 5,2W [34]. Pohyb otočného mechanismu byl analyzován v PTC Creo, pro ověření však musí být vyzkoušen v praxi.



Obr. 17 - Otáčecí mechanismus

Kontrola ložiska na statickou únosnost:

Název	Značka	Hodnota	jednotka
dynamická únosnost	C	13,5	[kN]
statická únosnost	C_0	6,55	[kN]
Přípustné otáčky	n_{max}	20000	[min ⁻¹]
Hmotnost	m	0,11	[kg]

Tabulka 15 - specifikace ložiska SKF 6204-Z [25]**Obr. 18 - Rozměry ložiska [25]**

d	20	[mm]
D	47	[mm]
B	14	[mm]
d₁	30,8	[mm]
d₂	25,9	[mm]

Tabulka 16 - Rozměry ložiska [25]

V ložisku působí síla pouze v axiálním směru

- Ekvivalentní statické zatížení ložiska [25]

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a = 0,6 \cdot 0 + 0,5 \cdot 130,57 \quad (5.06)$$

$$P_0 = 65,285N$$

- Bezpečnost ložiska

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{7,65}{0,065} \quad (5.07)$$

$$s_0 = 117,18$$

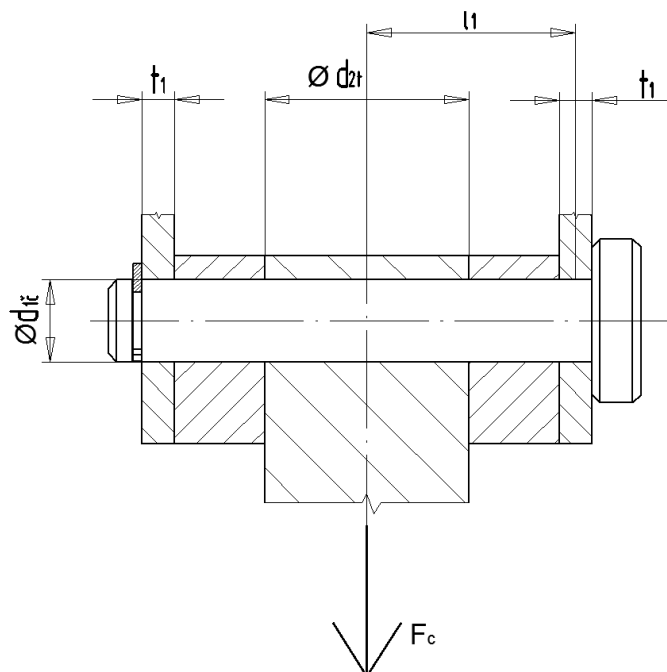
Doporučená hodnota statické bezpečnosti pro bodový styk, normální provozní podmínky a zanedbatelné požadavky na tichý chod je $s_0 \geq 0,5$ [32]. Ložisko vyhovuje. Dynamické účinky jsou zanedbány z důvodu malých otáček.

Pevnostní kontrola otočného mechanismu:

Konstrukce je zhotovena z materiálu 11 373. Tomu odpovídá mez kluzu $R_e = 186 \text{ MPa}$ a mez pevnosti $R_m = 330 \text{ až } 440 \text{ MPa}$. [2]

σ_{Dt}	100	[MPa]
σ_{Do}	70	[MPa]
τ_{Ds}	50	[MPa]
p_D	100	[MPa]

Tabulka 17 - dovolená napětí [26]



Obr. 19 - Rozměry mechanismu

průměr čepu	d_{1č}	10	[mm]
průměr tyče	d_{2t}	25	[mm]
tloušťka stěny	t₁	4	[mm]
délka ramena	l₁	25,5	[mm]

Tabulka 18 - Rozměry mechanismu [26]

Výpočet působící síly

$$F_c = (m_{om} + m_t) \cdot g = (10 + 3,31) \cdot 9,81 \quad (5.08)$$

$$F_c = 130,57N$$

Kontrola čepu na střih

$$\tau_{s1} = \frac{F}{S} = \frac{F_c}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{1č}^2}{4}} = \frac{130,57}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4}} = 0,831MPa \quad (5.09)$$

$$\tau_{s1} = 0,831MPa$$

$$\tau_{s1} \leq \tau_{Ds} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola čepu na otláčení

$$p_1 = \frac{F}{S} = \frac{F_c}{2 \cdot d_{1č} \cdot t_1} = \frac{130,57}{2 \cdot 10 \cdot 4} = 1,6321MPa \quad (5.10)$$

$$p_1 = 1,6321MPa$$

$$p_1 \leq p_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola čepu na ohyb

$$\sigma_{o1} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F_c}{2} \cdot l_1}{\frac{\pi \cdot d_{1č}^3}{32}} = \frac{\frac{130,57}{2} \cdot 25,5}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}} = 16,95MPa \quad (5.11)$$

$$\sigma_{o1} = 16,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o1} \leq \sigma_{Do} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola tyče na tah

$$\sigma_{t1} = \frac{F}{S} = \frac{F_c}{\frac{\pi \cdot d_{2t}^2}{4}} = \frac{130,57}{\frac{\pi \cdot 25^2}{4}} = 0,266 \text{ MPa} \quad (5.12)$$

$$\sigma_{t1} = 0,266 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t1} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola tyče na otláčení

$$p_2 = \frac{F}{S} = \frac{F_c}{d_1 \cdot d_{2t}} = \frac{130,57}{10 \cdot 25} = 0,522 \text{ MPa} \quad (5.13)$$

$$p_2 = 0,522 \text{ MPa}$$

$$p_2 \leq p_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

5.3 Volba technologického efektoru

Aplikace prášku bude provedena elektrostatickou metodou. K aplikaci byl vybrán technologický efektor společnosti Wagner typ PEA-C4 Twin. Efektor má dvě stříkácí pistole, čímž se dosáhne vhodnějšího přístupu prášku do problematických míst a také zkrácení doby nástřiku. Efektor je dodáván s přírubou vhodnou pro připojení k robotu.



Obr. 20 - Stříkácí pistole [28]

	hodnota	jednotka
Celková délka	500	[mm]
Hmotnost	1400	[g]
Třída krytí	IP 54	[-]
Maximální tok prášku	800	[g.min ⁻¹]
Polarita	negativní	[-]
Splňuje normu	EN 50177	[-]

Tabulka 19 - Vlastnosti elektrostatické pistole[27]

5.4 Vlastnosti robota ABB

Pro robotické pracoviště byl vybrán kompaktní lakovací robot společnosti ABB typ IRB 52 s rozsahem ramena až 1225mm. Robot obsahuje „Integrated Process System“ (IPS) pro rychlou kontrolu procesu. Tento systém zaručuje vhodnou regulaci vstupující barvy a vzduchu. Z důvodu většího pracovního prostoru je umístěn na podstavci.

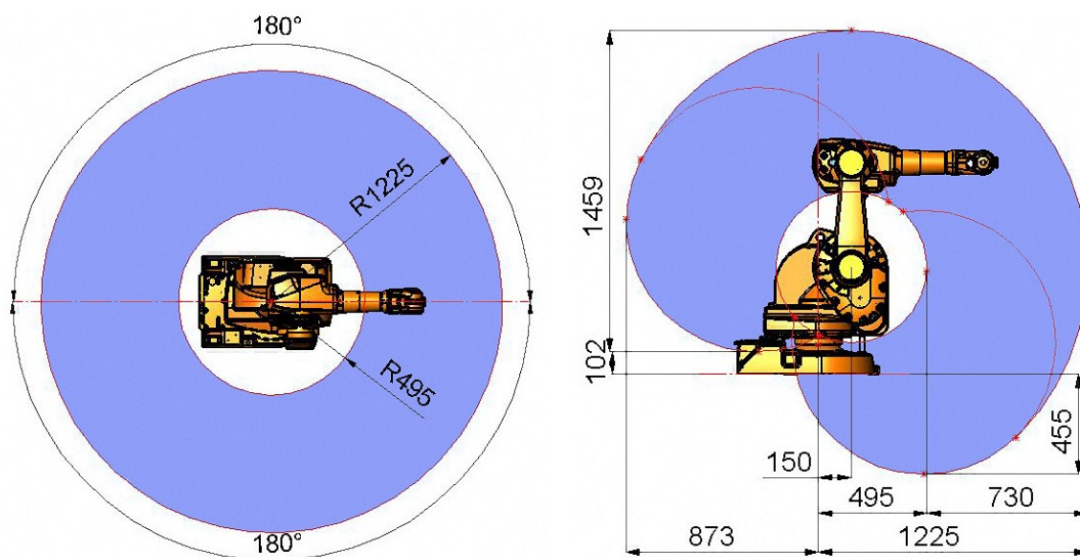
Obr. 21 - ABB
IRB 52 [29]

Technické parametry	hodnota	jednotka
Počet stupňů volnosti	6	[-]
Maximální nosnost	7	[kg]
Opakovaná přesnost polohy	0,15	[mm]
Cestovní přesnost	± 2	[mm]
Možnosti umístění	Podlaha, stěna	[-]
Digitální vstupy/výstupy	512/512	[-]
Analogové vstupy/výstupy	16 / 12	[-]
Pracovní teplota	+5 - 60	[°C]

Tabulka 20 - Vlastnosti robota ABB [29]

Osa	osa pohybu	maximální rychlost
1 - rotace	+180° do -180°	180°/s
2 - vertikální rameno	+120° do -90°	180°/s
3 - horizontální rameno	+55° do -235°	180°/s
4 - rotace horizontálního ramene	+200° do -200°	320°/s
5 - ohnutí zápěstí	+115° do -115°	400°/s
6 - rotace zápěstí	+400° do -400°	460°/s

Tabulka 21 - Rozsah pohybu robota ABB [29]



Obr. 22 - Pracovní prostor [29]

Elektrické připojení:

	hodnota	jednotka
AC proud	200 - 600	[V]
Počet fází	3	[-]
frekvence	50/60	[Hz]
Stand by spotřeba	<300	[W]
Provozní spotřeba	<800	[W]

Tabulka 22 - Napájení robota ABB [29]

5.5 Řídicí systém

Řídicí systém ABB IRC5P je plně kompatibilní s výše použitým robotem ABB a provádí řízení nástřiku. Řídicí systém má v sobě naprogramované dráhy nástřiku pro každou velikost rámu.



Obr. 23 - ABB IRC5P

Rozměry	Š:725, H:710, V:1450	[mm]
Váha	180 - 200	[kg]
Ochrana	IP54	[-]
Pracovní teplota	+5 - 60 (doporučená ≤60)	[°C]
skladovací/transportní teplota	-25 do 55	[°C]
relativní vlhkost	95%	[-]
hlučnost	≤70	[dB]
programovací jazyk	RAPID	[-]

Tabulka 23 – Technické parametry

Vlastnosti	
el. napětí	200 - 600V AC, tři fáze
frekvence	48,5 do 41,8 Hz
spotřeba – stand by	<300W
spotřeba - produkce	<700 - 2200W
záložní baterie	7000hod

Obr. 24 - Napájení ABB IRC5P

5.6 Odsávací box



Z důvodu splnění ekologických norem a požadavků je v nástřikové kabině umístěna odsávací zeď, která filtruje přestřík prášku. Kvůli jednoduchosti je zde použita odsávací zeď firmy Wagner typ BASIC 8000 (Obr. 25). Výhodou této kabiny je integrovaná rekuperace prášku. Kabina je vhodná pro provoz s dopravníkovým systémem a pro nástřik objektů do 2m výšky a šířky 1m. Splňuje ATEX standardy. Z boxu je čistý vzduch dále odváděn ven z budovy.

Obr. 25 - Odsávací box BASIC 8000 [27]

Vlastnosti	hodnota	jednotka
el. napětí	230 - 400	[V]
výkon řídicího motoru	6	[kW]
Frekvence	50	[Hz]
Plocha filtru	60	[m ²]
počet filtrů	3	[-]
Objem vzduchu	8000	[m ³ .hod ⁻¹]

Tabulka 24 Vlastnosti odsávací stěny[27]

5.7 Dávkovací centrum

Dávkovací centrum funguje jako zásobník barvy pro nástřik a je důležitou součástí celého RTP. Naší aplikaci vyhovuje dávkovací centrum firmy Wagner „Prima center“. Výměnu zásobníku prášku a tím i barev bude provádět vyškolený pracovník. Je použit zásobník s kapacitou až 40kg prášku. Dávkovací centrum obsahuje kompresorovou pistoli, která čistí sací potrubí, na kterém při výměně kontejneru zůstal přebytečný prášek. Prášek odsává sací zařízení a odvádí ho do kontejneru. Tento systém čištění centra zajišťuje čistotu provozu. Zařízení umožňuje připojení až 12 stříkacích pistolí. Výhodou je malá provozní plocha, pneumatický zdvih sacího potrubí. Pro plnění zásobníku je použit prášek pro elektrostatické použití.

Tlak vstupního vzduchu	0,6 - 0,8	[MPa]
spotřeba vzduchu	25	[Nm ³ .h ⁻¹]
Výška	2216	[mm]
Šířka	800	[mm]
Hloubka	800	[mm]

Tabulka 25 – Základní parametry dávkovacího centra [27]

5.8 Řídicí centrum

Řídicí centrum se používá k řízení aplikace barvy. Pro naši aplikaci je potřeba použít centrální řídicí modul CCM Prima central control module, k němuž může být připojeno až osm pistolových řídicích systémů. Pro každou stříkací hlavici je použita řídicí jednotka, která reguluje vstup vzduchu a prášku do pistole. Za nejvhodnější byla vybrána kontrolní jednotka EPG Sprint. Všechny řídicí moduly budou umístěny ve skříni. Nevyužité sloty skříně jsou zaslepeny.

Vstupní napětí	85 - 250	[V]
Vstupní výkon	440	[W]
Vstupní frekvence	50	[Hz]
třída ochrany	IP 54	[-]
Výstupní objem vzduchu	0,6 - 0,8	[MPa]
Váha	6,1	[Kg]

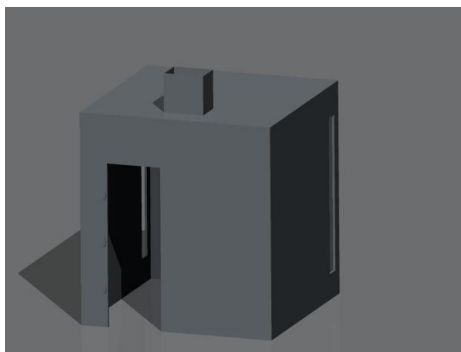
Tabulka 26 - Specifikace CCM Prima [27]

Vstupní napětí	85 - 250	[V]
Vstupní výkon	40	[W]
Vstupní frekvence	50 - 60	[Hz]
polarita nabíjení	Negativní nebo pozitivní	[-]
třída ochrany	IP 64	[-]
vstupní tlak	0,6 - 0,8	[MPa]
Výstupní objem vzduchu	15	[Nm ³ .h ⁻¹]
Pracovní teplota	5 – 45	[°C]
Váha	3,2	[Kg]

Tabulka 27 - Specifikace EPG sprint [27]

5.9 Nástřiková kabina

Kabina je tvořena kovovou konstrukcí, tvořenou především z plechů a je vyrobena speciálně pro naši aplikaci. Hlavní podmínkou je těsnost konstrukce, kvůli čistotě provozu a dosažení vhodného povrchu rámu. Kabina obsahuje dveře pro snadný přístup personálu k údržbě. Dále jsou zde dva otvory pro vjezd a výjezd dopravníkového systému a otvor pro připojení odsávacího boxu (*Obr. 26*). V kabině se dále nachází otvor pro vstup vzduchu.



Obr. 26 - Nástřiková kabina

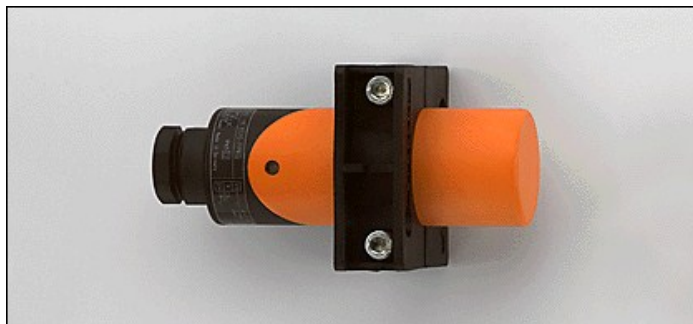
5.10 Vypalovací pec

Pro vypalování prášku byla zvolena infračervená pec s následným UV vypálením. [12] Pec dokáže rychle zahřát materiál na požadovanou teplotu. Její výhodou je dobrá řiditelnost teploty. Pro provoz pece je nutný přívod elektrické energie a zemní plyn, kterým je pec poháněna. Pec zahřívá OM na teplotu až 220°C. Doba vypalování materiálu v peci je určena experimentálně. Velikost vypalovací pece je orientační a je potřeba určit její velikost výrobcem speciálně pro naše využití.

Náklad a výklad materiálu se bude provádět z důvodu časové náročnosti na dvou místech po dráze dopravníku. Na náklad, resp. výklad má pracovník 24s. Náklad materiálu je umístěn blízko vjezdu do stříkací kabiny. Operaci bude provádět pracovník, který bude z palet nasouvat rám na tyč dopravníkového systému. Výklad materiálu provádí pracovník, který nakládá rámy na palety a následně otočí nosný mechanismus o 180°. Do budoucna je pro náklad a výklad materiálu zvažováno použití nakládacího přístroje. V případě vysoké teploty materiálu při vykládání je zvažováno použití chlazení.

6 Bezpečnostní opatření:

Snímač je umístěn u vjezdu do kabiny pro kontrolu vjezdu OM do nástřikové kabiny. Je použit proximální senzor. Za nejvhodnější byl zvolen indukční snímač IB5133 (*Obr. 27*). Snímač je propojen s řídicím systémem robotu ABB. Systém je nastaven tak, aby robot při absenci sepnutí neprováděl nástřik daného kusu. Při absenci více kusů je dopravník zastaven. Druhý stejný typ senzoru je umístěn u dorazu materiálu, kde ovládá sepnutí elektromagnetu.



Obr. 27 - indukční snímač IB5133 [30]



Obr. 28 - D4NS-1 F[31]

Další snímač je umístěn u vstupu do kabiny z důvodu bezpečnosti personálu. Zde je zvolen kontaktní snímač, který je umístěn nad dveřmi dveří (*Obr. 28*). Snímač při otevření dveří během operace zajistí její přerušení. Použit je bezpečnostní snímač firmy Omron, typ D4NS-1 F s klíčem D4DS-K2. Klíč je umístěn na dveřích a senzor na nástřikové kabině.

Nebezpečný prostor u výjezdu horkého OM z vypalovací pece je ohraničen zábradlím. Ostatní nebezpečný prostor kolem dopravníku je vyznačen reflexní žlutočernou páskou.

7 Popis potřebných energií

Na pracovišti je využita elektrická energie i stlačený vzduch.

Zařízení	ks	el. Energie	Pneu. Energie	Napájecí napětí	Maximální tlak
Robot ABB	1	ano		200 - 600V 50/60Hz	
Řídicí systém robotu ABB	1	ano		200 - 600V 50/60Hz	
Dávkovací centrum	1	ano	ano	230 – 400V 50Hz	0,6 - 0,8 Mpa
Dopravník	1	ano		200 - 600V 50/60Hz	
Odsávací stěna	1	ano		230 – 400V 50Hz	

Tabulka 28 – Seznam potřebných energií

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout robotické technologické pracoviště pro nástřik rámu jízdních kol.

První část bakalářské práce je věnována ke zjištění současného stavu nástřikových pracovišť. Jsou zde popsány nejčastější technologie nástřiku, způsoby nanášení tekutých a práškových materiálů a jejich další nezbytné dokončující operace. Rešerše se dále zabývá možnostmi filtrací přestřikového materiálu a možnostmi jeho použití při dalším procesu. Je navrhnout objekt manipulace a zjištěny jeho vlastnosti. Dále je vypracován požadavkový list, na jehož základě jsou navrženy dvě varianty řešení. V hodnotové analýze, byly zvoleny kritéria hodnocení pracoviště a vhodná stupnice hodnocení. Následně pomocí třech znalců, byly vypočteny váhy významnosti. Dále byly sečteny vážené indexy obou kritérii. Varianta, která získala největší součet vážených indexu, byla dále rozpracována.

V další části bakalářské práce byla detailně vypracována zvolená varianta. Ohled byl brán zejména na čistotu a bezpečnost provozu. Byla zvolena vhodná zařízení pro provoz robotického pracoviště a zkontrolována jejich spolupráce. Byl navrhnout podvěsný dopravník o délce 34033mm, který projíždí nástřikovou kabinou. V ní je proveden nástřik rámu robotem ABB z obou stran. Odsávací stěna byla zvolena od firmy Wagner, která se specializuje se na nástřikové systémy. Dávkovací centrum bylo voleno s ohledem na rychlou výměnu práškové barvy a jednoduchou údržbu. Byl zvolen technologický efektor firmy Wagner pro elektrostatické nanášení prášku. Dále byl navrhnout otočný mechanismus, který provádí otočení OM v kabině. Byla provedena jeho pevnostní kontrola a kontrola ložiska na statickou únosnost.

V práci byl vypočten čas nástřiku objektu manipulace, kadence a možnosti produkce robotického pracoviště. Z výpočtu vyplývá možnost nástřiku jednoho kusu za 37,5s, čímž byla splněna podmínka uvedená v požadavkovém listu.

Náklad výklad materiálu z dopravníku je prováděn pracovníky, avšak pro větší množství nastříkaných rámu je vhodné situaci dále dořešit použitím automatického mechanismu. Až z praktických zkušeností se zjistí skutečná teplota při vykládání

materiálu. Při vysoké teplotě se musí dořešit zchlazení materiálu. Zpráva je doplněna o 3D model pracoviště, dispozičním výkresem pracoviště a dispozičním výkresem haly.

Závěr bakalářské práce je věnován potřebným energiím pro provoz pracoviště. Řešena je také volba vhodného senzorického systému pro zajištění bezpečnosti a plynulosti provozu.

9 Seznam použitých pramenů

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. Periferní zařízení RTP. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006, 127 s. ISBN 80-248-1221-5.
- [2] LEINVEBER, Jan. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, xiv, 914 s. ISBN 80-736-1033-7.
- [3] Brightspoke.com. [online]. 2010 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://www.brightspoke.com/c/understanding/bike-frame-materials.html>
- [4] Bicycle frame. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_frame
- [5] Výběr kola | Mojekolo.cz. Jízdní kola | MOJEKOLO.cz [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.mojekolo.cz/info/poradna/vyber-kola>
- [6] Www.INDIVIDUALBIKE.CZ - Zakázková výroba jízdních kol. Www.INDIVIDUALBIKE.CZ - Zakázková výroba jízdních kol [online]. 2012 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.individualbike.cz/vyroba-jizdnich-kol.php>
- [7] A33 :: AUTHOR. Author kola :: AUTHOR [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.author.cz/kola/2013/a-33/>
- [8] File:Bicycle diagram-en.svg. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bicycle_diagram-en.svg?uselang=cs
- [9] File:Triumph Bicycle.JPG. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Triumph_Bicycle.JPG
- [10] ABB Certified robot refurbishment: Used robot offer [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/2d2943d032180694c1257686002ddf5e/\\$file/ROB0144EN_A%20HR.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/2d2943d032180694c1257686002ddf5e/$file/ROB0144EN_A%20HR.pdf)

- [11] Powder coating. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Powder_coating
- [12] Powder Curing. Specialchem [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.specialchem4coatings.com/tc/powder-coatings/index.aspx?id=powdercuring>
- [13] Práškové lakování v kostce: Princip práškového lakování. Salum [online]. 2006 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/35-salum-praskove-lakovani-v-kostce>
- [14] Emerald coast coatings [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://emeraldcoastcoatings.com/>
- [15] Coating of Aluminum Extrusions. Alexandria industries [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.alexandriaindustries.com/whitepapers/liquid-powder.php#sthash.mvZcnle4.dpbs>
- [16] Příčiny závad při lakování a jejich předcházení. Autolakovna Voříšek [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.autolakovna.cz/?strana=chyby-lakovani>
- [17] Overhead monorail chain conveyor. Convoynort [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.convoynort.com/uk-us/1200-series.php>
- [18] Podlahové odsávací stěny OPS. EST [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.estplus.cz/podlahove-odsavaci-steny-ops>
- [19] Systém regenerace prášku. Interpon [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.interpon.cz/expertise_topics/techniques/powder-recovery-system/
- [20] Cyclone separator.svg. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Cyclone_separator.svg
- [21] How does a water wall painting spray booth operate?. Ehow [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.ehow.com/how-does_5760179_water-paint-spray-booth-operate_.html

- [22] Rám Crossway 20-V. Merida bikes [online]. 2011 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.merida-bike.cz/prodej/Ram-Crossway-20-V----2011>
- [23] Crossway. Cyklopoint [online]. 2011 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.cyklopoint.cz/ram-merida-ram-crossway-20-v-218d/>
- [24] Packline [online]. 2003 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.pacline.com/pdfs/Pac-Line-C250.pdf>
- [25] SKF. Kuličková ložiska [online]. 2010 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515051.pdf>
- [26] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů: Části spojovací [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/files/kal01/skripta-castispojovaci.pdf>
- [27] WAGNER. The big Wagner 2011/2012 [online]. 2011 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://pdfs.findtheneedle.co.uk/8078-WAGNER-PowderCatalog-2011-.pdf>
- [28] Waner [online]. 2013 [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <http://www.wagner.cz/>
- [29] ABB. IRB 52: A compact painting specialist [online]. 2013 [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/2acc052fe4720ff9c12576ef002a2fe5/\\$file/IRB%2052%20Datasheet.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/2acc052fe4720ff9c12576ef002a2fe5/$file/IRB%2052%20Datasheet.pdf)
- [30] IB5133. Ifm [online]. 2003 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/IB5133.htm>
- [31] Safety-door Switch D4NS [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Safety/Safety%20door%20switches/Safety%20Door%20Switch/D4NS/C128/C128-E2-03-X+D4NS+Datasheet.pdf>
- [32] SKF. Určení velikosti ložiska [online]. 2000 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_00_03_Urceni%20velikosti%20loziska.pdf

- [33] WAGNER. WAGNER: Výrobce stříkací a lakovací techniky [online]. 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.wagner.cz/?gclid=CIGnlaWTmrcCFRLltAodoT4APg>
- [34] Přídržné elektromagnety E1AS. Selos [online]. 2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.magnety.sk/cz/pridrzne-elektromagnety-e1as/>
- [35] Tvary rámů. Kalkhoff [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.kalkhoff-bikes.com/cz/cz/sluzby/tvary-ramu.html>
- [36] Spray painting. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Spray_painting
- [37] Guidelines for preparing your layout [online]. 2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.pacline.com/specs/C-250-DetailedConveyorSpecs.pdf>
- [38] Pack-line: Installation manual [online]. 2010 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.pacline.com/installation_manuals/C-250_Installation_Manual_2010.pdf

10 Seznam použitých obrázků

OBR. 1 - POPIS RÁMU [8]	13
OBR. 2 - RÁM DIAMANT [7]	14
OBR. 3 - RÁM TRAPEZ [9]	14
OBR. 4 - UKÁZKA STARÉHO A REPASOVANÉHO ROBOTU [10].....	15
OBR. 5 - NANÁŠENÍ ELEKTROKINETICKÝM NABÍJENÍM[13]	16
OBR. 6 - NANÁŠENÍ ELEKTROKINETICKÝM NABÍJENÍM[13]	17
OBR. 7 - PODVĚSNÝ DOPRAVNÍK K TRANSPORTU RÁMŮ [17]	20
OBR. 8 - ODSÁVACÍ FILTRAČNÍ BOX [18]	21
OBR. 9 – PRINCIP CYKLONOVÉHO KOLEKTORU [20].....	22
OBR. 10 – SCHÉMA PRACOVÍŠTĚ A	24
OBR. 11 - SCHÉMA PRACOVÍŠTĚ B	25
OBR. 12 - RÁM MERIDA 20- V[22]	26
OBR. 13 - ROZMĚRY RÁMU [23]	26
OBR. 14 - DOPRAVNÍK PACKLINE [24].....	33
OBR. 15 - KONTROLA KOLIZE V ZATÁČCE.....	34
OBR. 16 - POPIS OTÁČECÍHO MECHANISMU	37
OBR. 17 - OTÁČECÍ MECHANISMUS	37
OBR. 18 - ROZMĚRY LOŽISKA [25].....	38
OBR. 19 - ROZMĚRY MECHANISMU	40
OBR. 20 - STRÍKACÍ PISTOLE [28].....	41
OBR. 21 - ABB IRB 52 [29].....	42
OBR. 22 - PRACOVNÍ PROSTOR [29]	43
OBR. 23 - ABB IRC5P.....	44
OBR. 24 - NAPÁJENÍ ABB IRC5P	44
OBR. 25 - ODSÁVACÍ BOX BASIC 8000 [27]	45
OBR. 26 - NÁSTŘIKOVÁ KABINA	47
OBR. 27 - INDUKTIVNÍ SNÍMAČ AB5133 [30].....	48
OBR. 28 - D4NS-1 F[31].....	48

11 Seznam použitých tabulek

TABULKA 1 - POŽADAVKOVÝ LIST.....	23
TABULKA 2 - ROZMĚRY RÁMU [23]	27
TABULKA 3 - MAXIMÁLNÍ ROZMĚRY RÁMU	27
TABULKA 4 - ÚROVNĚ KRITÉRIÍ	28
TABULKA 5 – VÝZNAMNOST KRITÉRIÍ	28
TABULKA 6 - ZHODNOCENÍ KRITÉRIÍ.....	28
TABULKA 7 -VYPRACOVANÁ METODA TROJÚHELNÍKŮ PÁRŮ PROVEDENÁ PRVNÍM ZNALCEM.....	29
TABULKA 8 - VYPRACOVANÁ METODA TROJÚHELNÍKŮ PÁRŮ PROVEDENÁ DRUHÝM ZNALCEM.....	29
TABULKA 9 - VYPRACOVANÁ METODA TROJÚHELNÍKŮ PÁRŮ PROVEDENÁ TŘETÍM ZNALCEM.....	30
TABULKA 10 - VÁHA VÝZNAMNOSTI	30
TABULKA 11 - ZHODNOCENÍ VARIANTY A	31
TABULKA 12 - ZHODNOCENÍ VARIANTY B	31
TABULKA 13 - VLASTNOSTI DOPRAVNÍKU [24].....	33
TABULKA 14 – SPECIFIKACE DOPRAVNÍKU	34
TABULKA 15 - SPECIFIKACE LOŽISKA SKF 6204 [25]	38
TABULKA 16 - ROZMĚRY LOŽISKA [25]	38
TABULKA 17 - DOVOLENÁ NAPĚTÍ [26].....	39
TABULKA 18 - ROZMĚRY MECHANISMU [26]	40
TABULKA 19 - VLASTNOSTI ELEKTROSTATICKÉ PISTOLE[27]	42
TABULKA 20 - VLASTNOSTI ROBOTA ABB [29].....	42
TABULKA 21 - ROZSAH POKYBU ROBOTA ABB [29].....	43
TABULKA 22 - NAPÁJENÍ ROBOTA ABB [29]	43
TABULKA 23 – TECHNICKÉ PARAMETRY	44
TABULKA 24 VLASTNOSTI ODSÁVACÍ STĚNY[27].....	45
TABULKA 25 – ZÁKLADNÍ PARAMETRY DÁVKOVACÍHO CENTRA [27].....	46
TABULKA 26 - SPECIFIKACE CCM PRIMA [27]	46
TABULKA 27 - SPECIFIKACE EPG SPRINT [27]	46
TABULKA 28 – SEZNAM POTŘEBNÝCH ENERGÍÍ.....	49

12 Seznam příloh

Příloha A: Obrázek 3D modelu pracoviště

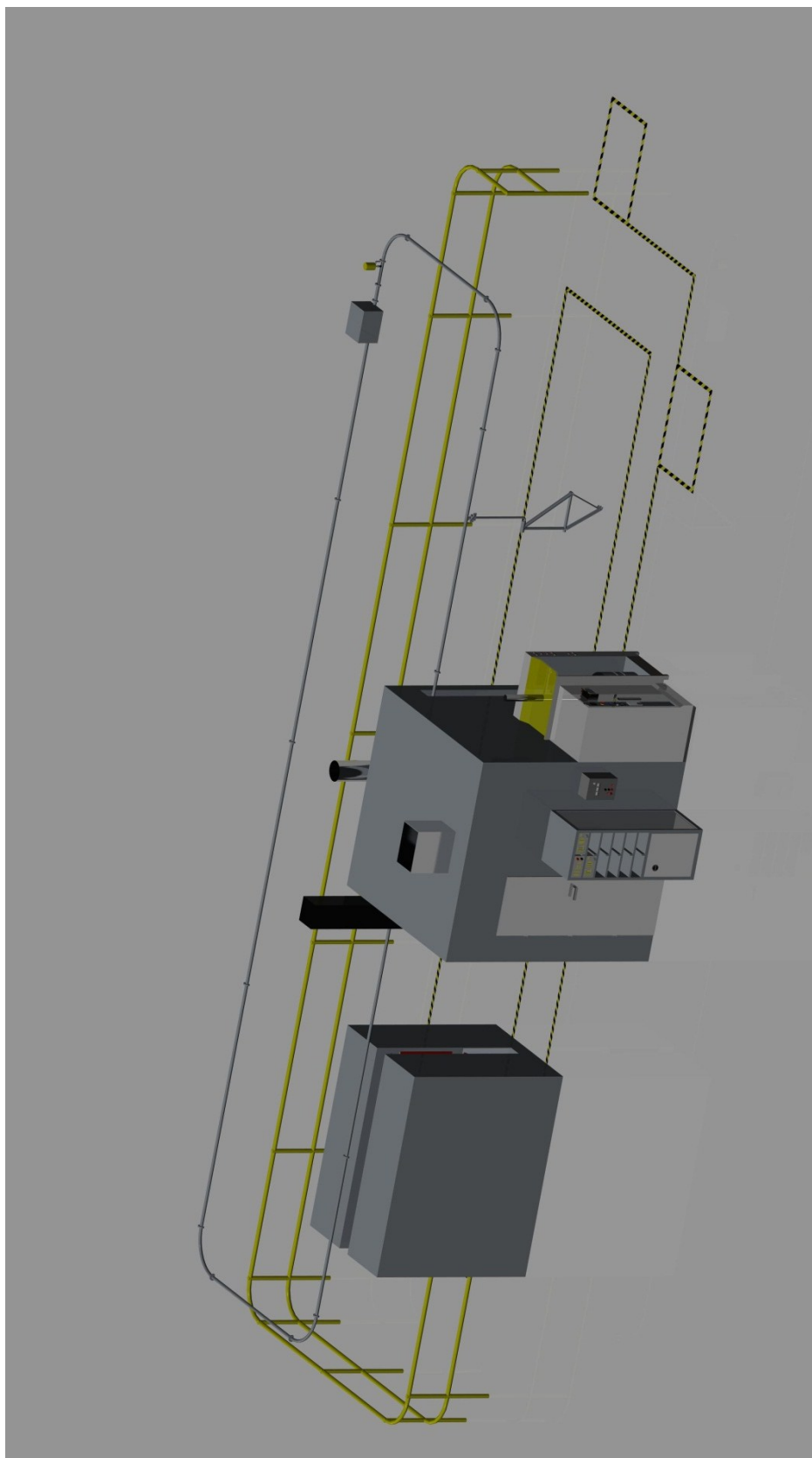
Dispoziční výkres pracoviště: 0 – RYS0024 – 01 – 01

Dispoziční výkres haly: 3 – RYS0024 – 01 – 02

DVD ROM: Ryšavý, M. Bakalářská práce

13 Přílohy

A 3D model pracoviště



Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Ladislav Kárníkovi, CSc. za podnětné připomínky a rady při tvorbě bakalářské práce.